

14 क्या मानव वानरों से विकसित हुए हैं?

fod kl okn dsçfr ,d foopukRed nf'Vdksk

सिन्धु मथाई

विवेचनात्मक पड़ताल विज्ञान के अध्यापन और अध्ययन के प्रति आज के नवाचारी दृष्टिकोण का मर्म है। अध्ययन को तभी कारगर माना जाता है जब विद्यार्थी अध्ययन के लिए प्रस्तुत अवधारणाओं से उलझता है और इसी के साथ वैज्ञानिक विवेचना की योग्यता विकसित करता है। यह बात विशेष रूप से हाल ही में तब और स्पष्ट हुई जब मैंने इस तरह की पड़तालों का उपयोग करते हुए "विकासवाद" पर एक कोर्स पढ़ाया। इस सिलसिले में एक गतिविधि का अनुभव खासतौर से सन्तोषजनक रहा और उसी का वर्णन मैंने यहाँ पर किया है। हालाँकि यह गतिविधि अज़ीम प्रेमजी विश्वविद्यालय के एक वैकल्पिक पाठ्यक्रम के अंग के रूप में की गई थी, इसे कक्षा 9 से 12 तक के विद्यार्थियों के साथ भी किया जा सकता है। राष्ट्रीय शैक्षिक अनुसन्धान और प्रशिक्षण परिषद (एन.सी.ई.आर.टी.) की पाठ्य–पुस्तकों[1] में आनुवंशिकता और विकास का सबसे पहला परिचय कक्षा 9 (विज्ञान) में दिया गया है, और फिर कक्षा 10 (विज्ञान) और कक्षा 12 (जीवविज्ञान) में और गहराई में जाकर उसकी छानबीन की गई है।

यह विषय अपने में महत्वपूर्ण है। मुझे विकासवादी जीवविज्ञानी डोब्झेन्स्की (1973) के अक्सर उद्धरित किए जाने वाले ये शब्द बार–बार याद आते रहे : "जीवविज्ञान में तब तक किसी भी चीज का कोई अर्थ नहीं होता जब तक कि उसको विकासवाद की रोशनी में नहीं परखा जाता।" मैंने कक्षा के पहले दिन से ही विकासवाद की कहानी की कथावस्तु – नैसर्गिक चयन – पर अपना समय देना शुरू किया। कक्षा में हुई चर्चा से मुझे सन्देह हुआ। वैज्ञानिक सिद्धान्तों की यह फितरत है कि जैसे ही आप उनको एकबारगी समझ लेते हैं, वे आपको अपनी चमत्कृत कर देने वाली सरलता के बावजूद अपनी तर्कशक्ति से चकित करते हैं। 1858 में चार्ल्स डार्विन और अल्फ्रेड वालेस रसेल द्वारा संयुक्त रूप से पेश किया गया नैसर्गिक चयन का सिद्धान्त भी इसका अपवाद नहीं है। कक्षा में चर्चा के दौरान विद्यार्थियों में व्याप्त वैकल्पिक अवधारणाओं को महसूस करते हुए मैंने पाया कि इसका हल किसी ऐसी आकर्षक गतिविधि में ही सम्भव होगा जो अलग–अलग अवधारणाओं को एकीकृत कर सके।

अपनी तलाश के दौरान नेशनल अकादमी ऑफ साइंस, अमेरिका[2] से विकासवाद से सम्बन्धित ऐसी कई सरल गतिविधियाँ मेरे हाथ लगीं जिनके लिए किन्हीं खास संसाधनों की भी जरूरत नहीं थी। ऐसी ही एक गतिविधि का शीर्षक था "सामान्य वंशानुक्रम की पड़ताल: सूत्रबद्ध करने वाली व्याख्याएँ और मॉडल"। यह गतिविधि नैसर्गिक चयन के माध्यम से विकास की समझ की दिशा में ले जाने वाली विभिन्न बुनियादी अवधारणाओं को एकीकृत करती थी, हालाँकि उसका जोर मॉलिक्युलर साक्ष्य पर था। इसी के साथ–साथ वह विद्यार्थियों को परिकल्पनाएँ गढ़ते हुए, पड़ताल करते हुए, मॉलिक्युलर साक्ष्य का परीक्षण करते हुए, उसके आधार पर नतीजा निकालते हुए और जरूरत पड़ने पर शुरुआती परिकल्पनाओं में रद्दोबदल करते हुए या उनको पूरी तरह से खारिज करते हुए एक विवेचनात्मक पड़ताल की ओर ले जाती थी। विद्यार्थियों को इस सवाल को परखने और उसका जवाब देने की दिशा भी मिलती थी कि "क्या मानव का विकास वानरों से हुआ है?" इस कक्षा के पहले उनको परस्पर–प्रभावी कालरेखा की मार्फत विकास के इतिहास की यात्रा करवाई गई थी।[3] पीबीएस नोवा वृत्तचित्रों के माध्यम से डार्विन के जीवन और कृतित्व से भी उनका परिचय कराया गया था।[4] विकास की प्रक्रिया और विज्ञान के विकास की समझ में आए बदलावों को जानने के लिए उन्होंने लामार्क, वालेस और डार्विन की

कृतियों के अंश पढ़े थे।[5]

शैक्षिक अनुशासन की परिपाटियों को समझने की प्रक्रिया : तालिकाएँ और क्लाडोग्राम

परीक्षण को तीन भागों में बाँटा गया था। इसे एक शिक्षक की निर्देशिका के रूप में लिखा गया था जिसमें ऐसे डायग्राम और वर्कशीट दी गई थी जिनको आसानी से नया रूप दिया जा सकता था/बदला जा सकता था। विद्यार्थियों ने 4–5 के छोटे–छोटे समूहों में काम किया। पहले हिस्से में वानरों और मानवों के लक्षणों का परीक्षण और तुलना करना जरूरी था। यह तुलना शरीर की मुद्राओं, पैरों और बाहों की लम्बाई, मस्तिष्क के आकार आदि कई चीजों के सन्दर्भ में की जानी थी। इसके बाद एक वृक्ष डायग्राम (मार्फोलॉजिकल वृक्ष, क्लाडोग्राम) दिया गया था जिसमें वानरों और मानव–प्रजाति के बीच तुलना करते हुए उनके रिश्ते को समझा गया था। क्लाडोग्रामों का उपयोग विकासवादी जीववैज्ञानिकों द्वारा, किसी शैक्षणिक अनुशासन की साझा परिपाटियों की ही तरह, साझा वंशानुक्रमों पर आधारित जीवों के आपसी रिश्तों को दर्शाने के लिए किया जाता है। आँकड़ों की इस रूप में की गई प्रस्तुति ने मुझे इस परिपाटी के लक्षणों को विद्यार्थियों को समझाने का अवसर दिया। इसके लिए मैंने ग्रेगॅरी आर. टी. (2008) के एक आलेख (6) की मदद ली।

परिकल्पनाएँ गढ़ना

तालिका और विकास–वृक्ष से विभिन्न स्तनधारी जीवों तथा मानवों के बीच के रिश्ते सामने आए। विद्यार्थियों से वानरों – गुरिल्लाओं और चिम्पांजियों (क्रमशः G और C के माध्यम से निर्देशित), मानवों (H के माध्यम से निर्देशित) तथा इनके साझा पूर्वज (A) के बीच के रिश्ते उकेरने को कहा गया। यह वृक्ष जैसे ही एक और रेखाचित्र के माध्यम से किया जाना था। लेकिन वृक्ष डायग्राम इसको स्पष्ट तरीके से नहीं दर्शाता था। विद्यार्थी इस बात को लेकर कुछ भ्रमित–से थे कि इस तरह के रिश्तों को कैसे उकेरा जा सकता है। उम्मीद यह की गई थी कि वे वृक्ष डायग्राम की मार्फत दर्शाए गए सम्बन्ध को एक ऐसी परिकल्पना का रूप दें, या एक ऐसे सम्बन्ध को प्रस्तुत करें जिसका सत्यापन या परीक्षण किया जा सके।

दृश्यपरक शिक्षा का अभ्यस्त होने के नाते, मैंने महसूस किया कि विद्यार्थी उन दो वानर–प्रजातियों के चित्र देखना पसन्द करेंगे जिनका जिक्र ऊपर किया गया है। इसलिए मैंने इण्टरनेट से कुछ चित्र लिए और उनको प्रोजैक्ट किया ताकि उनको लक्षणों का कुछ बोध हो सके। चित्र 1 और 2 में इसके उदाहरण दिए गए हैं।

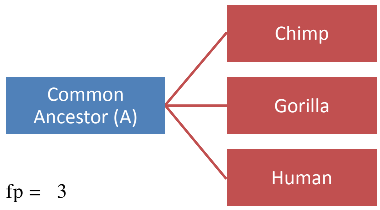


चित्र–1

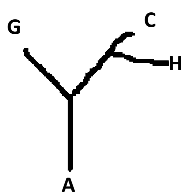


चित्र–2

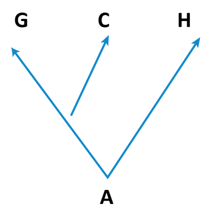
विद्यार्थियों द्वारा प्रस्तुत की गई परिकल्पनाओं की जाँच की गई। विद्यार्थियों के ज्यादातर समूहों ने एक से



fp = 3



fp = 4



fp = 5

अधिक परिकल्पनाएँ गढ़ी थीं। चित्र 3, 4 और 5 विद्यार्थियों (VS, TS और NK) की प्रस्तुतियों से लिए गए हैं।

जीन श्रृंखलाओं की तुलना : मॉलिक्युलर साक्ष्य सम्बन्धपरकता के बारे में क्या उजागर कर सकता है?

इन तात्कालिक परिकल्पनाओं के बाद विद्यार्थी गतिविधि के दूसरे हिस्से में अपनी परिकल्पनाओं के परीक्षण की दिशा में बढ़े। इसके अन्तर्गत प्रोटीन हीमोग्लोबिन (अधिकांश रीढ़धारियों में खून को लाल रंग प्रदान करने वाला रंग–द्रव्य) के लिए जीनों की कोडिंग की तुलना के माध्यम से गुरिल्लाओं, चिम्पाजियों और उनके साझा पूर्वजों के बीच के रिश्तों की तुलना की गई। विद्यार्थियों को पिछली कक्षा में चर्चा के लिए पद्धति के बारे में संक्षेपिकाएँ और मार्गदर्शी प्रश्न उपलब्ध कराए गए थे और परीक्षण शुरू करने के पहले उनको पढ़ने को कहा था। आमतौर से सुनने में आने वाले संक्षिप्त शब्द 'डीएनए' ने उनमें से कईयों में पेचीदगी का अहसास जगाया था।

हालाँकि अपनाई गई पद्धति एकदम बच्चों के खेल जैसी थी। डीएनए का एक तन्तु सुगर फास्फेट बैकबोन, नाइट्रोजीनियस बेसेस : एडेनाइन (A), ग्वानाइन (G), थाइमाइन (T) और साइटोसाइन (C) और उसको दोहरे स्पाइरल की शक्ल देते एक पूरक तन्तु के आधारों के साथ हाइड्रोजन अनुबन्ध से निर्मित होता है। एडेनाइन थाइमाइन के साथ जुड़ा होता है, और ग्वानाइन साइटोसाइन के साथ जुड़ा होता है। जीन डीएनए का एक अंश है और इस तरह विद्यार्थियों को डीएनए के 20 आधारों से बने प्रत्येक हिस्से अंश के साथ काम करना था। परीक्षण के विवरण के अन्तर्गत प्रत्येक प्रजाति की (वर्तमान में उपलब्ध साक्ष्य के मुताबिक) श्रृंखला दी गई थी। उदाहरण के लिए, मानव (H) डीएनए तन्तु की श्रृंखला है : A-G-G-C-A-T-A-A-A-C-C-A-A-C-C-G-A-T-T-A. इसी तरह गुरिल्ला (G), चिम्पांजी (C) और इन जीवों के एक परिकल्पित साझा पूर्वज (A) की हीमोग्लोबिन की श्रृंखलाओं की कोडिंग उपलब्ध कराई गई थी। प्रत्येक समूह के लिए विभिन्न डिब्बों में अलग–अलग रंगों (प्रत्येक आधार के लिए एक रंग) के कागज के टुकड़े उपलब्ध कराए गए थे। विद्यार्थियों को, जैसा कि चित्र 6 में दर्शाया गया है, प्रत्येक प्रजाति के डीएनए तन्तुओं को संयोजित करना था।

पहला आधार श्रृंखला को दर्शाने के लिए चिह्नित था। मानव डीएनए की तुलना पहले गुरिल्ला डीएनए से और फिर चिम्पांजी डीएनए से की गई थी। तुलना आधार से आधार (कागज के एक टुकड़े से कागज के दूसरे टुकड़े) के बीच की गई। आपस में मेल खाने वाले आधारों की और बेमेल



fp = 6 %i s j fDy i l s fu fe Z x qj Yy k Mh, u , d s r Ur qd k , d fo l kFkhZ (BJ) } kj k fy ; k x ; k fp =

आधारों की संख्या (जिसका अनुमान भी किया जा सकता था) निकाली गई। अन्तिम संख्याओं को एक तालिका में रखा गया। साझा पूर्वज डीएनए को प्रक्रिया के तीसरे भाग के लिए सुरक्षित रखा गया।

एक छात्रा (VS) ने अपनी तुलनाओं को रंगों के अंकन की मार्फत प्रस्तुत किया जिसे चित्र 7 में दर्शाया गया है।

साझा पूर्वज से आए परिवर्तन: हम किस तरह वानरों से सम्बन्ध रखते हैं?

तीसरे हिस्से में, विकास की प्रक्रिया में बदलावों तथा 'मालिक्युलर घड़ियों' के रूप में उनके महत्व की विद्यार्थियों की समझ को मजबूत किया गया। प्रत्येक प्रजाति के

"गढ़ी गई शृंखलाएँ (रंगों के अंकन के साथ) इस तरह उभरती थीं:

Human	A	G	G	C	A	T	A	A	A	C	C	A	A	C	C	G	A	T	T	A
Chimp	A	G	G	C	C	C	C	T	T	C	C	A	A	C	C	G	A	T	T	A
Gorilla	A	G	G	C	C	C	C	T	T	C	C	A	A	C	C	A	G	G	C	C
Common	A	G	G	C	C	G	G	C	T	C	C	A	A	C	C	A	G	G	C	C

मानव डीएनए की तुलना क्रमश:
गुरिल्ला और चिम्पांजी के डीएनए से करने पर नीचे अंकित अनुसार परिणाम सामने आए :

Human	A	G	G	C	A	T	A	A	A	C	C	A	A	C	C	G	A	T	T	A
Chimp	A	G	G	C	C	C	C	T	T	C	C	A	A	C	C	G	A	T	T	A

15 मेल, 5 बेमेल आधार

Human	A	G	G	C	A	T	A	A	A	C	C	A	A	C	C	G	A	T	T	A
Gorilla	A	G	G	C	C	C	C	T	T	C	C	A	A	C	C	A	G	G	C	C

10 मेल. 1 व बेमेल आधार

fp= 7%, d fo| kFkhZ½h, l ½}kjk çR;sd vk/kkj dsfy, jaxksa dk mi;ksx djrsgq fd;k x;k Mh,u, rUrqvksadh lekurk dk çLrqfr dj.k

डीएनए के तन्तुओं की साझा पूर्वज के साथ तुलना बदलावों के बारे में जानकारी उपलब्ध कराती और इस तरह इस पूर्वानुमान में मदद करती कि प्रजाति के रूप लेने की घटना कैसे और कब घटित हुई: या कब एक नई प्रजाति ने रूप लिया और विकास के वृक्ष में उसकी नई शाखा विकसित होना शुरू हुई। इसलिए साझा पूर्वज के डीएनए की तुलना प्रत्येक अन्य – मानव, गुरिल्ला, और चिम्पांजी – के डीएनए से की गई और एक बार फिर समानताओं और असमानताओं की गणना करके उनकी पहले जैसी ही तालिका तैयार की गई। सम्पूर्ण तालिका एक विद्यार्थी (BJ) द्वारा तैयार की गई प्रस्तुति जैसी दिखती थी।

तालिका 1: गतिविधि के दौरान किए गए पर्यवेक्षणों को दर्शाते आँकड़ों की (BJ) तालिकाएँ–

मानव डीएनए के लिए मिश्रित आँकड़ा (भाग II)		
मानव डीएनए से तुलना करने पर :	**समानताओं की संख्या**	**असमान आधार**
चिम्पांजी डीएनए	15	5
गुरिल्ला डीएनए	10	10
साझा पूर्वज डीएन का आँकड़ा (भाग III)		
साझा पूर्वज डीएनए से तुलना करने पर:	**समानताओं की संख्या**	**असमान आधार**
मानव डीएनए	10	10
चिम्पांजी डीएनए	12	8
गुरिल्ला डीएनए	17	3

इन आँकड़ों पर कक्षा में चर्चा की गई। विद्यार्थियों से कहा कि वे इन आँकड़ों की रोशनी में अपनी परिकल्पनाओं को एक बार फिर से देखें। क्या वे इससे सन्तुष्ट हैं, क्या वे अपनी परिकल्पना में कोई फेर–बदल करना चाहते हैं?

तालिका को और अभ्यास की शुरुआत में पेश किए गए क्लाडोग्राम को देखने पर, साथ ही चिम्पांजी और गुरिल्ला की तस्वीरों को देखने पर विद्यार्थियों के ज्यादातर समूहों ने यह परिकल्पना की कि गुरिल्ला और चिम्पांजी के बीच ज्यादा करीबी रिश्ता है। हालाँकि दूसरे भाग में हासिल किए गए आँकड़े दर्शाते थे कि हीमोग्लोबिन की जीन कोडिंग में मानवों के साथ गुरिल्लाओं के मुकाबले में चिम्पांजी कहीं ज्यादा आधारों में साझा करते हैं। साथ ही, तीसरे भाग के आँकड़ों के मुताबिक साझा पूर्वज के साथ गुरिल्ला कहीं ज्यादा समानताएँ रखते हैं, और चिम्पांजी तथा मानव इस मामले में क्रमश: दूसरे और तीसरे क्रम पर आते हैं, जो गुरिल्लाओं और साझा पूर्वज के बीच कहीं ज्यादा बड़े सम्बन्ध को दर्शाता है। तब फिर चित्र 4 में दर्शाया गया

वृक्ष स्थिति को कहीं ज्यादा बेहतर ढंग से पेश करने वाला माना जाएगा।

इस परीक्षण से और उससे निकले आँकड़ों से तथा उनसे निकले सरल निष्कर्ष से विद्यार्थी बहुत खुश हुए। लेकिन शुरू में जो सवाल सामने रखा गया था कि “क्या मानव वानरों से विकसित हुए हैं?” उसका जवाब अभी भी साफ नहीं था। चूँकि कक्षा के लिए निर्धारित दो घण्टे का वक्त बीत चुका था, मैंने विद्यार्थियों से कहा कि वे इस चर्चा को अपने होमवर्क में पूरा करते हुए कक्षा में विश्लेषित किए गए आँकड़ों के आधार पर निष्कर्ष निकालें।

साक्ष्य से निकलता हुआ विलक्षण निष्कर्ष जो आम धारणा के विपरीत जाता है

इस गतिविधि का हैरतअंगेज और विचारोत्तेजक पक्ष अभी तक सामने नहीं आया था। कई सारे विद्यार्थियों ने अपने होमवर्क में उपलब्ध साक्ष्य के आधार पर, ‘सीढ़ी–नुमा’, ‘क्रमिक विकास’ मॉडल की आम वैकल्पिक अवधारणा को सामने लाते हुए, इस उपलब्ध साक्ष्य के साथ तर्क करने की कोशिश की थी कि मानव का विकास वाकई वानरों से हुआ है! हालाँकि इसके लिए जो आँकड़े उन्होंने पेश किए थे वे सही थे और उस कक्षा में विकसित हुई साझा समझ के अनुरूप थे। एक विद्यार्थी (टीएस) के मामले में, इस अवधारणात्मक परिवर्तन को उसके लिखने में महसूस किया जा सकता था: “जो निष्कर्ष निकाला जा सकता है वह यह है कि हालाँकि मानवों का विकास वानरों से हुआ है...” यहाँ उसने विश्लेषित साक्ष्य के विस्तार में जाने के लिए अपनी बात को अधूरा छोड़ दिया था और अन्तिम निष्कर्ष में कहा था : “यह अभ्यास इस तथ्य के पक्ष में साक्ष्य प्रस्तुत करता है कि तीनों प्राणी (गुरिल्ला, चिम्पांजी और मानव) सम्भव है किसी एक साझा पूर्वज से विकसित हुए हों और कालान्तर में डीएनए में आए परिवर्तनों की वजह से उनमें ये परिवर्तन लक्ष्य किए गए हों।”

लेकिन कुछ दूसरे होमवर्क से उभरते हुए रुझानों पर नजर डालने के बाद मैंने पाया कि साक्ष्य और वृक्ष डायग्राम (चित्र 4) से तार्किक निष्कर्ष तक की इस छलांग के लिए कुछ और मदद जरूरी होगी। मैंने आनन–फानन में कक्षा के लिए यह मेल भेजा: ‘‘प्रिय विद्यार्थियो, अगर आज आपके पास कुछ मिनिट का वक्त हो तो मेरा निवेदन है कि आप सब http://www.pbs.org/wgbh/evolution/library/11/2/quicktime/e_s_5_100.html[7] वीडियो देख डालें। इसे देखने के लिए आपको क्विक टाईम या रियल प्लेयर जरूरी होगा। पिछली कक्षा में किए गए परीक्षण को विचार में लिए बगैर क्या आप सोच सकते हैं कि यह कहने का क्या मतलब होता है कि ‘मानव का विकास वानरों से हुआ है?’ क्या इसका मतलब यह नहीं हुआ कि विकास की प्रक्रिया में एक वानर मानव बन गया, याकि एक चिम्पांजी/गुरिल्ला मानव के रूप में विकसित हो गया? क्या आप विश्लेषित साक्ष्य के आधार पर ऐसा दावा कर सकते हैं। आज हम कक्षा में इस पर चर्चा करेंगे।’’

कक्षा में वीडियो के अवलोकन से कुछ और स्पष्टीकरण और चर्चाएँ सामने आईं। कुछ विद्यार्थियों ने पहले प्रस्तुत किए गए अपने होमवर्क को अपनी बदली हुई समझ के मुताबिक नए सिरे से प्रस्तुत किया। ये बाद वाले होमवर्क उस नैसर्गिक चयन की प्रक्रिया पर कहीं ज्यादा विचार करते थे जो मानवों, चिम्पांजियों और गुरिल्लाओं के विकास के पीछे एक कारक रहा हो सकता था।

कुल मिलाकर यह एक उत्तेजक गतिविधि साबित हुई जिसने नैसर्गिक चयन के रास्ते हुए विकास की समझ की ओर ले जाने वाली प्रमुख अवधारणाओं को स्पष्ट किया और एक – दूसरे के साथ उनका सामंजस्य बिठाया, जिसने मूलभूत प्रतिरोधी वैकल्पिक अवधारणाओं को उजागर किया और जिसने विद्यार्थियों को एक–दूसरे को समझने, सहयोग करने में संलग्न रखा। एक अध्यापक के रूप में परीक्षण की इस पद्धति का उपयोग मेरे लिए एक अत्यन्त सन्तोषजनक और फलप्रद अनुभव रहा।

References

(1) NCERT Online textbooks (2005). New Delhi: National of Educational Research and Training. Retrieved from: http://ncert.nic.in/NCERTS/textbook/textbook.html on 7th December 2012.

(2) Teaching about evolution and the nature of science (1998). Working group on teaching evolution. Washington D.C.: National Academy of Sciences. Activity retrieved from: http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=5787&page=81 on 7th December 2012.

(3) Evolution Revolution. PBS Nova documentaries on Evolution and web resources (2001). Timeline retrieved from: http://www.pbs.org/wgbh/evolution/religion/revolution/ed_pop.html

(4) PBS Nova documentaries on Evolution and web resources (2001). Retrieved from: http://www.pbs.org/wgbh/evolution/ on 7th December 2012.

(5) Teaching about evolution and the nature of science (1998). Working group on teaching evolution. Washington D.C.: National Academy of Sciences. Activity retrieved from: http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=5787&page=93 on 7th December 2012.

(6) Gregory, T.R. (2008). Understanding Evolutionary Trees. Evo Edu Outreach 1: 121-137. Retrieved from: http://www.cbs.dtu.dk/courses/27615.mol/pdf/understanding_evo_trees.pdf on 7th December 2012.

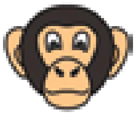
(7) Did Humans Evolve? PBS Nova documentaries on Evolution and web resources (2001). Video retrieved from: http://www.pbs.org/wgbh/evolution/library/11/2/quicktime/e_s_5_100.html on 7th December 2012.

Image credits

Figure 1: Inaglory, B. (2009). Male gorilla in SF Zoo. Retrieved from: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Male_gorilla_in_SF_zoo.jpg on 7th December 2012. Licence: Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported

Figure 2: Lersch, T. (2005). Common chimpanzee in the Leipzig zoo. Retrieved from: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Schimpanse_zoo-leipig.jpg on 7th December 2012. Licence: Free Software Foundation: GNU Free Documentation License, Version 1.2.

Figures 3 - 7 and Table 1: Assignment submissions of students: Vibha Sequeira, Tejbir Singh, Nayan Kumar and Bhawana Joshi as indicated in the body of the article. Permission obtained.



सिन्धु *अजीम प्रेमजी विश्वविद्यालय बंगलौर के यूनिवर्सिटी रिसोर्स सेण्टर में असिस्टेण्ट प्रोफेसर तथा उसकी एकेडेमिक्स एण्ड पेडागॉजी टीम की सदस्य हैं। उन्होंने होमी भाभा सेण्टर फॉर साइंस एजुकेशन, मुम्बई से साइंस एजुकेशन में पीएच.डी. की है। उनका शोध 'विज़ुओस्पेशियल रीजनिंग इन अण्डरस्टेंण्डिंग ह्यूमन फ़िज़ियॉलॉजी एट द मिडिल स्कूल लेविल' पर केन्द्रित रहा है। शोध के दौरान वे कक्षा में किए जाने वाले प्रयोगों तथा कक्षा 1 और 2 के लिए टीचर्स बुक (अँग्रेजी में) के लेखन में व्यस्त रही हैं। उन्होंने स्कूल, के.एफ़.आई., चेन्नई में जीवविज्ञान का अध्यापन भी किया है। उनसे sindhu.mathai@azimpremjifoundation.org. पर सम्पर्क किया जा सकता है।* ***अनुवाद*** *: मदन सोनी*